

# UPAYA PERBAIKAN JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH PT. PLN (PERSERO) RAYON TUMBANG TITI KETAPANG

Andrianto Dwi Prasetyo <sup>1)</sup>, Bonar Sirait <sup>2)</sup>, Purwoharjono <sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura  
Email : <sup>1)</sup>[andriantodpblog@gmail.com](mailto:andriantodpblog@gmail.com)  
<sup>2)</sup>[bonar.sirait@ee.untan.ac.id](mailto:bonar.sirait@ee.untan.ac.id)  
<sup>3)</sup>[purwoharjono@ee.untan.ac.id](mailto:purwoharjono@ee.untan.ac.id)

**Abstrak** – Penyulang Pawan 11 merupakan penyulang struktur radial terpanjang yang terdapat pada PT. PLN Rayon Tumbang Titi mempunyai panjang 168 kms. Dari pengolahan data penyulang Pawan 11 terdiri dari 112 bus dengan total beban aktif sistem penyulang Pawan 11 sebesar 5.165,310 kW, dan beban reaktif sebesar 3.220,790 kVAR. Persentase jatuh tegangan yang terjadi pada ujung penyulang mencapai sebesar 18,5% atau 16,3 kV. Salah satu upaya perbaikan penyaluran daya listrik dan kualitas tegangan pada dapat dilakukan pemasangan kapasitor bank pada penyulang tersebut. Pada penelitian ini penyelesaian aliran daya sistem distribusi radial menggunakan metode injeksi arus dikembangkan oleh Jen-Hao Teng (2003) dan dalam menentukan bus lokasi penempatan dan besarnya nilai injeksi daya reaktif dari kapasitor bank berdasarkan hasil analisa aliran daya dengan kondisi bus yang mempunyai persentase jatuh tegangan diatas 5% atau nilai tegangan dibawah 19 kV.

**Kata kunci :** aliran daya sistem distribusi radial, metode injeksi arus, kapasitor bank, rugi-rugi daya aktif, SPLN No. 72 Tahun 1987

## 1. Pendahuluan

PT. PLN (Persero) UP3 Ketapang terdiri dari 13 penyulang Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV (SUTM) dimana sistem kelistrikannya masih terisolasi dari Sistem Khatulistiwa sehingga disuplai oleh sistem pembangkitan sendiri PLTD dan PLTU. Penyulang Pawan 11 merupakan penyulang struktur radial terpanjang yang terdapat pada PT. PLN Rayon Tumbang Titi mempunyai panjang 168 kms. Berdasarkan data beban yang tercatat pada Bulan September 2020, beban puncak yang terjadi pada penyulang Pawan 11 sebesar 6,4 MW, sedangkan persentase jatuh tegangan yang terjadi pada ujung penyulang mencapai sebesar 18,5% atau 16,3 kV. Berdasarkan SPLN No. 72 Tahun 1987, penurunan tegangan maksimum pada beban penuh yang diijinkan di beberapa titik pada jaringan distribusi sistem radial sebesar 5% dari tegangan kerja, dengan persentase jatuh tegangan tersebut kualitas tegangan pada penyulang Pawan 11 dapat dinyatakan buruk. Salah satu upaya perbaikan penyaluran daya listrik dan kualitas tegangan

pada dapat dilakukan pemasangan kapasitor bank pada penyulang tersebut.

Oleh karena itu untuk mengetahui berapa besar pengaruh pemasangan kapasitor bank dalam upaya perbaikan jatuh tegangan pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi Ketapang perlu dilakukannya analisa aliran daya sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank. Pada penelitian ini penyelesaian aliran daya sistem distribusi radial menggunakan metode injeksi arus dikembangkan oleh Jen-Hao Teng (2003), untuk analisa profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial khasnya adalah metode penyelesaian yang sederhana dengan penyusunan unsur-unsur jaringan sistem distribusi seperti cabang, dan bus ke dalam bentuk matrik. Input data algoritma hanyalah suatu orientasi bus data cabang biasa. Dalam menentukan bus lokasi penempatan dan besarnya nilai injeksi daya reaktif dari kapasitor bank berdasarkan hasil analisa aliran daya dengan kondisi bus yang mempunyai persentase jatuh tegangan diatas 5% atau nilai tegangan dibawah 19 kV.

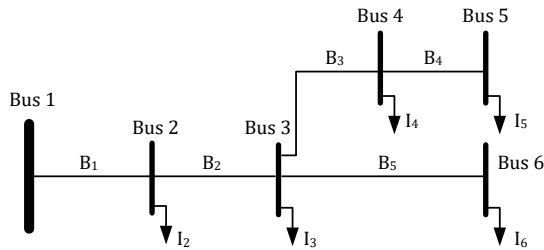
## 2. Dasar Teori

### 2.1. Sistem Distribusi Radial <sup>[3]</sup>

Pada umumnya, hampir seluruh jaringan distribusi berstruktur radial. Dibandingkan dengan struktur jaringan yang lainnya, jaringan struktur radial memiliki kekhususan yang dapat dimanfaatkan untuk mempermudah pemecahan masalah-masalah dalam menganalisa jaringan radial. Kekhususan jaringan struktur radial adalah :

1. Jaringan radial, hanya memiliki satu bus sebagai sumber daya, dan selanjutnya kita sebut sebagai bus sumber.
2. Bus-bus lainnya didalam jaringan merupakan bus beban, berarti bahwa seluruh bus dalam sistem jaringan akan mempunyai arus injeksi.

Untuk jaringan distribusi hantaran udara tegangan menengah (SUTM), pada umumnya saluran relatif pendek, dan efek kapasitansi saluran dapat diabaikan, sehingga saluran dapat direpresentasikan sebagai impedansi seri.



Gambar 1. Jaringan Distribusi Radial Sederhana [3]

Pada suatu jaringan struktur radial berlaku hubungan  $m = n-1$ , dimana  $m$  melambangkan jumlah cabang, dan  $n$  melambangkan jumlah bus.

Untuk jaringan distribusi radial yang ditunjukkan dengan Gambar 1, maka

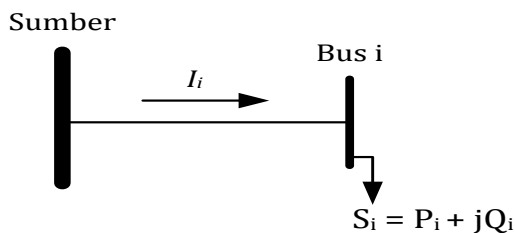
Jumlah bus ( $n$ ) = 6, yaitu : {Bus 1, Bus 2, Bus 3, Bus 4, Bus 5, Bus 6}

Jumlah cabang ( $m$ ) = 5, yaitu : {B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>}.

## 2.2. Pengertian Arus Injeksi Pada Jaringan Distribusi Radial [3]

Menurut Teng (2003:1). Untuk sistem distribusi permodelan lebih mudah menggunakan berdasarkan arus injeksi. Pada bus ke- $i$ , beban kompleks  $S_i$  dinyatakan sebagai :

$$S_i = P_i + j Q_i \text{ KVA} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad \dots (1)$$



Gambar 2. Permodelan Arus Injeksi [3]

Dan arus injeksi ekuivalen pada iterasi ke- $k$  dari solusi adalah :

$$I_i^{(k)} = \left( \frac{P_i + j Q_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad \dots (2)$$

dimana :

- $S_i$  = Beban kompleks pada bus ke- $i$  (dalam kVA)
- $P_i$  = Beban aktif pada bus ke- $i$  (dalam kW)
- $Q_i$  = Beban reaktif pada bus ke- $i$  (dalam kVAr)
- $V_i^{(k)}$  = Tegangan bus ke- $i$  pada iterasi ke- $k$  (dalam kV)
- $I_i^{(k)}$  = Arus bus ke- $i$  pada iterasi ke- $k$  (dalam Ampere)

## 2.3. Bus Injeksi ke Arus Cabang [3]

Untuk mendefinisikan bus injeksi ke arus cabang, dapat digunakan gambar jaringan distribusi radial sederhana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Injeksi daya pada setiap bus dapat dikonversikan ke bentuk injeksi arus ekuivalen dengan bantuan persamaan (2) dan hubungan di antara injeksi arus bus dan arus cabang dapat diperoleh dengan bantuan hukum *Kirchoff*

untuk arus (*Kirchoff Current Law*) pada jaringan distribusi.

Arus-arus cabang dapat kemudian diformulasikan sebagai suatu fungsi injeksi arus ekuivalen seperti arus-arus cabang B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> dan B<sub>5</sub> dinyatakan dengan injeksi arus ekuivalen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_4 &= I_5 \\ B_5 &= I_6 \end{aligned} \quad \dots (3)$$

Dengan demikian hubungan di antara arus injeksi dan arus cabang dinyatakan seperti :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

Atau persamaan-persamaan ini dapat disusun sebagai berikut:

$$[B] = [BIBC][I] \quad \dots (5)$$

Matrik konstan [BIBC] adalah suatu matriks yang hanya berisikan elemen 0 dan 1 saja.

Secara umum prosedur pembentukan matrik BIBC dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Untuk suatu sistem distribusi dengan  $m$ -seksi saluran dan  $n$ -bus, dimensi matrik BIBC adalah  $m \times n-1$
2. Jika seksi saluran berada diantara bus ke-1 dan bus ke-2, isikan nilai +1 di posisi baris seksi saluran ke-1 dan kolom bus ke-2.
3. Jika seksi saluran berada diantara bus ke-2 dan bus ke-3, salinlah kolom bus ke-2 dari matrik BIBC ke kolom bus ke-3 dan isikan nilai +1 di posisi baris seksi saluran ke-2 dan kolom bus ke-3.
4. Ulangi langkah tersebut sampai semua seksi saluran terisi ke matrik BIBC.

## 2.4. Arus Cabang ke Tegangan Bus [3]

Untuk sistem distribusi pada Gambar. 1, di atas tegangan pada setiap bus dapat dinyatakan dengan fungsi dari arus cabang, parameter saluran dan tegangan sumber atau gardu induk sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= B_1 Z_{12} \\ V_1 - V_3 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} \\ V_1 - V_4 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} \\ V_1 - V_5 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} + B_4 Z_{45} \\ V_1 - V_6 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_5 Z_{56} \end{aligned} \quad \dots (6)$$

Persamaan (6) tersebut di atas dapat dituliskan dalam bentuk lain seperti di bawah ini

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

Persamaan (7) dapat ditulis dalam bentuk umum sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \dots\dots\dots(8)$$

Secara umum prosedur pembentukan matrik BCBV dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Untuk suatu sistem distribusi dengan m-cabang dan n-bus, dimensi matrik BCBV adalah (n-1) x m
2. Jika suatu seksi saluran berada diantara bus ke-1 dan bus ke-2, isikan nilai impedansi saluran  $Z_{12}$  diposisi baris bus ke-2 dan kolom cabang ke-1
3. Jika seksi saluran berada diantara bus ke-2 dan bus ke-3, salinlah baris bus ke-2 dari matrik BCBV ke baris bus ke-3 dan isikan nilai impedansi  $Z_{23}$  ke posisi bus ke-3 dan kolom cabang ke-2.
4. Ulangi langkah tersebut sampai semua seksi saluran terisi ke matrik BCBV.

## 2.5. Prosedur Penyelesaian <sup>[3]</sup>

Matrik-matrik BIBC dan BCBV dibentuk berdasarkan struktur topologi sistem distribusi. Matrik BIBC menyatakan hubungan antara arus injeksi bus dan arus cabang. Menyatakan variasi-variasi pada arus cabang yang didapatkan dari variasi-variasi arus injeksi bus dapat dihitung secara langsung oleh matrik BIBC.

Matrik BCBV menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Menyatakan variasi-variasi pada tegangan bus yang diperoleh dengan variasi-variasi pada arus cabang dapat ditentukan secara langsung oleh matrik BCBV. (Teng, 2003:3).

Penggabungan persamaan (5) dan persamaan (8) akan diperoleh hubungan antara arus injeksi bus dan tegangan bus sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \dots\dots\dots(9)$$

Matrik  $[\Delta V]$  merupakan matrik yang menerangkan jatuh tegangan dari bus sumber ke bus beban dalam sistem.

$$[V_i^{(k+1)}] = [V_1] - [\Delta V_i^{(k+1)}] \dots\dots\dots(10)$$

Rugi-rugi daya listrik yang terjadi pada jaringan dinyatakan :

$$P_{Loss} = real\{V_{ss} \sum_{j \in ss} [(V_{ss} - V_j)y_{ss,j}]^* - \sum_{j=1}^N PD_j\} \quad (11)$$

dimana :

BIBC = Bus Injeksi ke Arus Cabang

BCBV = Arus Cabang ke Tegangan Bus

$S_{ij}$  = Daya kompleks yang mengalir dari bus ke-i ke bus ke-j

$V_i^{(k)}$  = Tegangan bus ke-i pada iterasi ke-k

$V_i$  = Tegangan bus ke-i

$V_1$  = Tegangan bus sumber

$V_j$  = Tegangan bus ke-j

$y_{ij}$  = Admitansi bus ke-i dan bus ke-j

$P_{loss}$  = Rugi-rugi daya Listrik

$V_{ss}$  = Tegangan bus sumber (Gardu Hubung)

$PD_j$  = Beban aktif pada bus ke-j

$N$  = Jumlah bus

$P_{Loss}$  = Total rugi daya aktif

Menurut Teng (1999:4). Prosedur perhitungan aliran daya distribusi radial, hampir sama dengan prosedur perhitungan dalam analisa sistem tenaga. Dengan demikian analisa aliran daya sistem distribusi radial memerlukan perhitungan dengan proses iterasi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses perhitungan adalah sebagai berikut :

- 1) Mempersiapkan data yang diperlukan untuk analisa, yaitu : jumlah bus, jumlah cabang, hubungan antar bus, resistansi dan reaktansi saluran, beban aktif (P) dan beban reaktif (Q) bus.
- 2) Menentukan nilai tegangan dasar , daya dasar , iterasi maksimum , akurasi.
- 3) Pembentukan matrik BIBC (bus injeksi ke arus cabang).
- 4) Pembentukan matrik BCBV (arus cabang ke tegangan bus).
- 5) Menentukan : tegangan bus sumber ( $V_1$ ) = 1 pu, tegangan awal bus ke-i pada iterasi ke-k ( $V_i^{(k)}$ ), iterasi k =1.
- 6) Hitung arus injeksi pada masing-masing bus dengan persamaan :

$$I_i^{(k)} = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^*$$

- 7) Menentukan : iterasi k = k+1. Hitung jatuh tegangan pada iterasi ke-(k+1) dengan persamaan :  
 $[\Delta V_i^{(k+1)}] = [BCBV][BIBC][I_i^{(k)}]$
- 8) Perbarui (update) tegangan bus dengan persamaan :  
 $[V_i^{(k+1)}] = [V_1] - [\Delta V_i^{(k+1)}]$
- 9) Hitung arus injeksi pada masing-masing bus menggunakan tegangan bus terbaru dengan persamaan :

$$I_i^{(k+1)} = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k+1)}} \right)^*$$

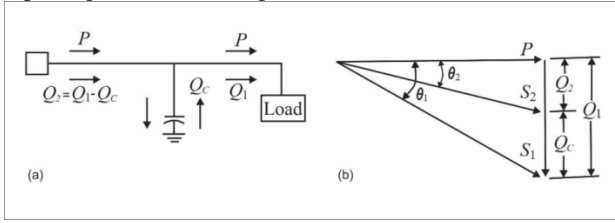
- 10) Periksa arus injeksi bus terakhir ( $I_{i(maks)}$ ) apakah sudah konvergen dengan nilai akurasi ( $\epsilon$ ) :  
 $|I_i^{(k+1)}| - |I_i^{(k)}| \leq \epsilon$
- 11) Bila langkah 7 belum terpenuhi maka proses perhitungan diulang kembali mulai dari langkah 6 dan seterusnya, sampai langkah 7 terpenuhi. Setelah iterasi selesai, maka proses dilanjutkan yaitu :
- 12) Menghitung total rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran :

$$P_{Loss} = real\left\{V_{ss} \sum_{j \in ss} [(V_{ss} - V_j)y_{ss,j}]^* - \sum_{j=1}^N PD_j\right\}$$

- 13) Cetak profile tegangan bus, total rugi-rugi daya aktif, grafik profil tegangan.

## 2.6. Perbaikan Faktor Daya [4]

Perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor [4]

Pada Gambar 3 di atas daya beban (P) adalah tetap dan besaran kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperkecil sudut fase  $\phi_1$  menjadi sudut fase  $\phi_2$  dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_1 = P \cdot \tan \phi_1 \quad [\text{kVAR}] \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_2 = P \cdot \tan \phi_2 \quad [\text{kVAR}] \quad \dots\dots\dots (13)$$

Sehingga kapasitas kVAR kapasitor pada Gambar 2.16 adalah selisih antara daya reaktif induktif sebelum pemasangan kapasitor ( $Q_1$ ) dengan daya reaktif induktif setelah dipasang kapasitor ( $Q_2$ ). Dengan demikian persamaannya menjadi :

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad [\text{kVAR}] \quad \dots\dots\dots (14)$$

atau

$$Q_C = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad [\text{kVAR}] \quad \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

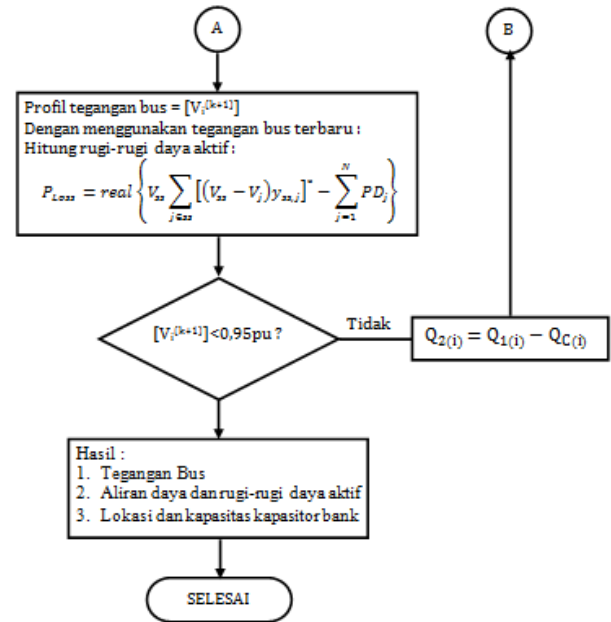
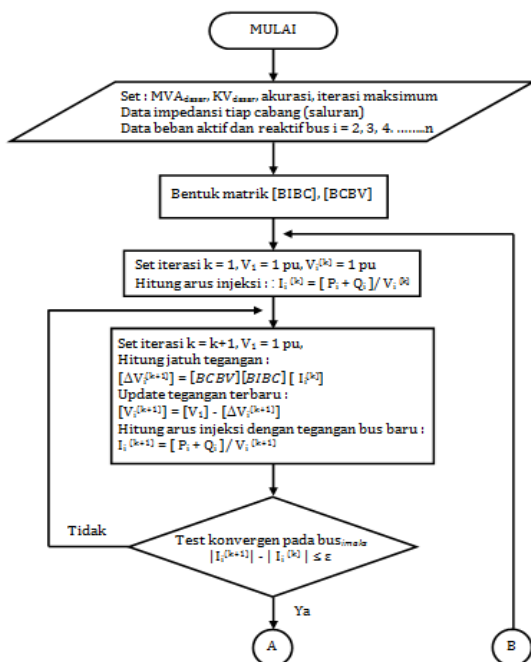
$Q_C$  = Kapasitas kapasitor (kVAR)

$\tan \phi_1$  = Sudut lagging sebelum dipasang kapasitor

$\tan \phi_2$  = Sudut lagging setelah dipasang kapasitor

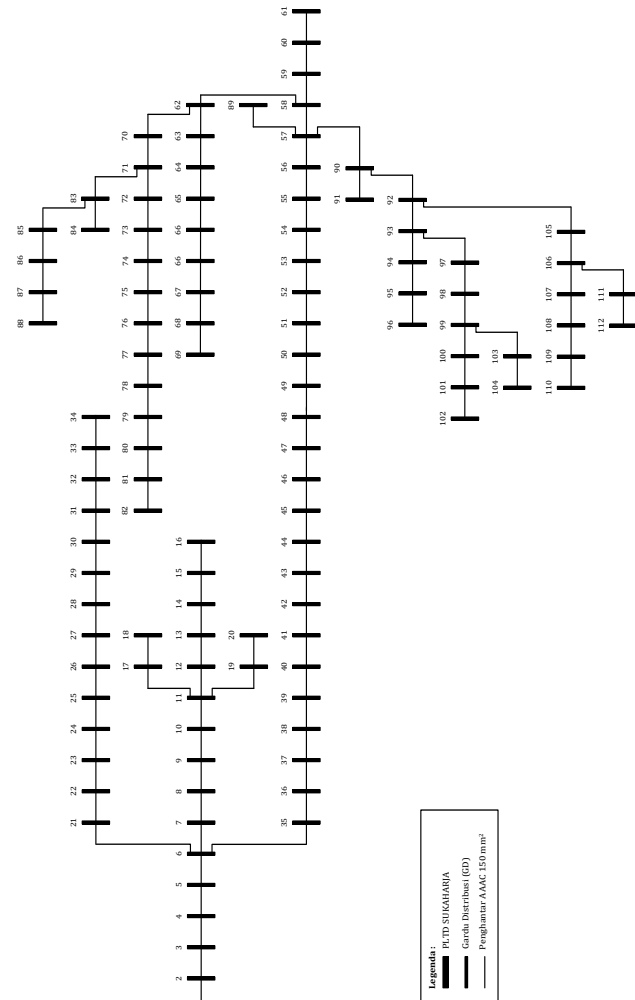
## 2.7. Diagram alir penelitian

Diagram alir sebagai upaya perbaikan jatuh tegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi Ketapang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## 3. Data dan Hasil Perhitungan



Gambar 5. Diagram Satu Garis Penyulang Pawan 11

### 3.1. Tegangan Bus Penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi

Hasil perhitungan tegangan bus penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan Bus Penyulang Pawan 11

No Bus	Voltage (kV)	P (kW)	Q (kVAR)	QC (kVAR)	$\Delta V$ (%)
1	20,000	0,000	0,000	0,00	0,000
2	19,795	29,330	18,290	0,00	1,026
3	19,618	54,400	33,920	0,00	1,911
4	19,470	76,500	47,700	0,00	2,652
5	19,311	100,640	62,750	0,00	3,450
6	19,194	64,600	40,280	0,00	4,037
7	19,158	55,250	34,450	0,00	4,219
8	19,129	65,450	40,810	0,00	4,367
9	19,108	72,250	45,050	0,00	4,470
10	19,085	64,600	40,280	0,00	4,587
11	19,057	111,520	69,540	0,00	4,725
12	19,040	57,800	36,040	0,00	4,811
13	19,027	69,700	43,460	0,00	4,876

Lanjutan Tabel 3.

No Bus	Voltage (kV)	P (kW)	Q (kVAR)	QC (kVAR)	$\Delta V$ (%)
14	19,016	54,400	33,920	0,00	4,933
15	19,010	67,150	41,870	0,00	4,962
16	19,008	97,920	61,060	0,00	4,975
17	19,049	97,920	61,060	0,00	4,766
18	19,048	68,000	42,400	0,00	4,773
19	19,053	16,360	10,200	0,00	4,746
20	19,051	150,880	94,080	0,00	4,759
21	19,140	56,950	35,510	0,00	4,311
22	19,118	58,650	36,570	0,00	4,422
23	19,088	51,850	32,330	0,00	4,573
24	19,075	62,900	39,220	0,00	4,639
25	19,034	85,680	53,420	0,00	4,843
26	18,996	15,510	9,670	0,00	5,035
27	18,973	36,550	22,790	0,00	5,151
28	18,934	107,100	66,780	0,00	5,346
29	18,918	147,900	92,220	0,00	5,425
30	18,911	55,250	34,450	0,00	5,462
31	18,906	70,550	43,990	0,00	5,485
32	18,898	107,440	66,990	0,00	5,530
33	18,891	108,800	67,840	0,00	5,561
34	18,890	81,600	50,880	0,00	5,569
35	19,080	59,500	37,100	0,00	4,613
36	18,975	118,320	73,780	0,00	5,140
37	18,853	63,750	39,750	0,00	5,755
38	18,719	15,730	9,810	0,00	6,427
39	18,614	13,810	8,610	0,00	6,955
40	18,489	73,100	45,580	0,00	7,585
41	18,374	19,130	11,930	0,00	8,164
42	18,193	33,580	20,940	0,00	9,077
43	18,068	54,400	33,920	0,00	9,711
44	17,984	56,100	34,980	0,00	10,136
45	17,927	34,430	21,470	0,00	10,423

46	17,827	36,980	23,060	0,00	10,927
47	17,711	74,800	46,640	0,00	11,515
48	17,605	27,630	17,230	0,00	12,054
49	17,476	35,700	22,260	0,00	12,705
50	17,367	28,900	18,020	0,00	13,258
51	17,271	34,430	21,470	0,00	13,747
52	17,166	35,700	22,260	0,00	14,283
53	17,078	60,350	37,630	0,00	14,727
54	17,015	25,930	16,170	0,00	15,049
55	16,947	66,300	41,340	0,00	15,394
56	16,887	26,350	16,430	0,00	15,701
57	16,768	13,810	8,610	0,00	16,307
58	16,706	14,880	9,280	0,00	16,621
59	16,698	36,130	22,530	0,00	16,664
60	16,689	76,500	47,700	0,00	16,710
61	16,687	35,280	22,000	0,00	16,722
62	16,669	36,550	22,790	0,00	16,811
63	16,656	37,830	23,590	0,00	16,879
64	16,639	31,030	19,350	0,00	16,966
65	16,630	34,850	21,730	0,00	17,011
66	16,627	33,580	20,940	0,00	17,025
67	16,622	30,180	18,820	0,00	17,051
68	16,621	29,330	18,290	0,00	17,057

Lanjutan Tabel 3.

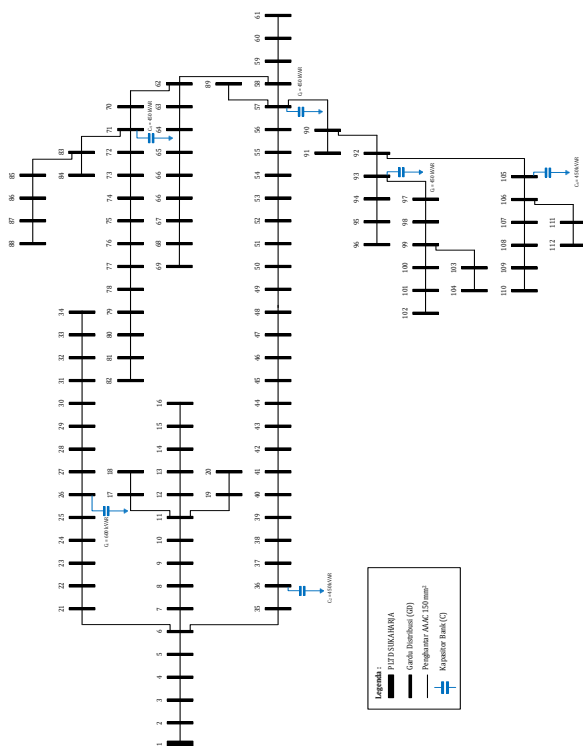
No Bus	Voltage (kV)	P (kW)	Q (kVAR)	QC (kVAR)	$\Delta V$ (%)
69	16,620	28,900	18,020	0,00	17,062
70	16,648	35,700	22,260	0,00	16,917
71	16,629	32,730	20,410	0,00	17,017
72	16,620	27,200	16,960	0,00	17,063
73	16,610	14,240	8,880	0,00	17,115
74	16,594	36,130	22,530	0,00	17,193
75	16,591	36,980	23,060	0,00	17,211
76	16,585	37,400	23,320	0,00	17,241
77	16,582	15,940	9,940	0,00	17,256
78	16,578	26,350	16,430	0,00	17,277
79	16,572	29,330	18,290	0,00	17,306
80	16,570	13,180	8,220	0,00	17,319
81	16,566	14,030	8,750	0,00	17,336
82	16,565	34,850	21,730	0,00	17,343
83	16,615	31,880	19,880	0,00	17,089
84	16,612	74,800	46,640	0,00	17,102
85	16,610	65,450	40,810	0,00	17,113
86	16,608	15,510	9,670	0,00	17,124
87	16,605	15,090	9,410	0,00	17,137
88	16,604	56,950	35,510	0,00	17,143
89	16,767	18,910	11,790	0,00	16,313
90	16,714	36,130	22,530	0,00	16,580
91	16,713	25,500	15,900	0,00	16,585
92	16,671	16,790	10,470	0,00	16,802
93	16,635	31,880	19,880	0,00	16,987
94	16,633	15,510	9,670	0,00	16,996
95	16,632	37,830	23,590	0,00	17,003
96	16,631	28,050	17,490	0,00	17,006
97	16,618	62,050	38,690	0,00	17,070
98	16,611	18,490	11,530	0,00	17,106
99	16,602	14,660	9,140	0,00	17,156
100	16,598	18,280	11,400	0,00	17,174

101	16,596	31,030	19,350	0,00	17,185
102	16,595	51,000	31,800	0,00	17,192
103	16,595	58,650	36,570	0,00	17,188
104	16,594	32,730	20,410	0,00	17,196
105	16,665	18,490	11,530	0,00	16,834
106	16,658	29,750	18,550	0,00	16,867
107	16,653	27,200	16,960	0,00	16,895
108	16,650	31,030	19,350	0,00	16,907
109	16,649	13,600	8,480	0,00	16,912
110	16,649	16,790	10,470	0,00	16,915
111	16,654	32,300	20,140	0,00	16,889
112	16,653	29,750	18,550	0,00	16,894

Berdasarkan Tabel 3 diatas, tegangan bus penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi yang masih memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu persentase jatuh tegangan masih dibawah 5% atau tegangan bus diatas 19 kV terdapat sebanyak 26 bus, sedangkan tegangan bus yang tidak memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu persentase jatuh tegangan diatas 5% atau tegangan bus dibawah 19 kV terdapat sebanyak 86 bus. Adapun tegangan bus minimal terdapat pada bus 82 (Gardu distribusi TT 0022) yaitu sebesar 16,565 kV, dengan persentase jatuh tegangan bus sebesar 17,343%.

### 3.2. Pemasangan Kapasitor Bank Pada Penyulang Pawan 11

Pemasangan kapasitor tersebut tidak serta merta dilakukan pada keseluruhan bus yang mengalami level tegangan kritis, akan tetapi perlu ditentukan letak kapasitor yang optimum sehingga dapat memberikan daya reaktif secara optimum ke sistem untuk meningkatkan tegangan pada bus-bus kritis.



Gambar 6. Diagram Satu Garis Lokasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Penyulang Pawan 11

Dengan mempertimbangkan percabangan saluran pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi, diperoleh ada 6 lokasi penempatan kapasitor bank yang dianggap optimum seperti diperlihatkan Gambar 6. Dengan adanya penempatan kapasitor bank pada 6 bus prioritas diharapkan dapat meningkatkan kualitas tegangan pada 80 bus lainnya.

Tabel 4. Lokasi Penempatan Kapasitor dan Kapasitasnya

No	Bus	Nama Gardu	Kapasitas Kapasitor (kVAR)
1	26	KTP 0214	600
2	36	KTP 0381	450
3	57	TT 0048	450
4	71	TT 0014	450
5	93	TT 0049	450
6	105	TT 0052	450
Total			2.850

### 3.3. Tegangan Bus Penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Tegangan setiap bus dari hasil perhitungan analisa aliran daya penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi setelah pemasangan kapasitor bank dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tegangan Bus Penyulang Pawan 11 Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

No Bus	Voltage (kV)	P (kW)	Q (kVAR)	QC (kVAR)	$\Delta V$ (%)
1	20,000	0,000	0,000	0,00	0,000
2	19,875	29,330	18,290	0,00	0,628
3	19,768	54,400	33,920	0,00	1,168
4	19,679	76,500	47,700	0,00	1,618
5	19,585	100,640	62,750	0,00	2,098
6	19,517	64,600	40,280	0,00	2,446
7	19,481	55,250	34,450	0,00	2,626
8	19,452	65,450	40,810	0,00	2,772
9	19,432	72,250	45,050	0,00	2,874
10	19,409	64,600	40,280	0,00	2,990
11	19,382	111,520	69,540	0,00	3,125
12	19,365	57,800	36,040	0,00	3,211
13	19,353	69,700	43,460	0,00	3,274
14	19,341	54,400	33,920	0,00	3,331
15	19,336	67,150	41,870	0,00	3,359
16	19,333	97,920	61,060	0,00	3,373
17	19,374	97,920	61,060	0,00	3,166
18	19,373	68,000	42,400	0,00	3,173
19	19,378	16,360	10,200	0,00	3,146
20	19,376	150,880	94,080	0,00	3,159
21	19,485	56,950	35,510	0,00	2,610
22	19,472	58,650	36,570	0,00	2,674

23	19,456	51,850	32,330	0,00	2,757
24	19,450	62,900	39,220	0,00	2,792
25	19,431	85,680	53,420	0,00	2,892
26	19,415	15,510	9,670	600,00	2,975
27	19,392	36,550	22,790	0,00	3,089
28	19,354	107,100	66,780	0,00	3,281
29	19,339	147,900	92,220	0,00	3,359
30	19,332	55,250	34,450	0,00	3,395
31	19,327	70,550	43,990	0,00	3,418
32	19,319	107,440	66,990	0,00	3,462
33	19,313	108,800	67,840	0,00	3,492
34	19,311	81,600	50,880	0,00	3,500
35	19,467	59,500	37,100	0,00	2,706

Lanjutan Tabel 5.

No Bus	Voltage (kV)	P (kW)	Q (kVAR)	QC (kVAR)	$\Delta V$ (%)
36	19,423	118,320	73,780	450,00	2,938
37	19,361	63,750	39,750	0,00	3,260
38	19,296	15,730	9,810	0,00	3,604
39	19,245	13,810	8,610	0,00	3,873
40	19,185	73,100	45,580	0,00	4,193
41	19,132	19,130	11,930	0,00	4,480
42	19,049	33,580	20,940	0,00	4,928
43	18,993	54,400	33,920	0,00	5,236
44	18,956	56,100	34,980	0,00	5,437
45	18,932	34,430	21,470	0,00	5,571
46	18,891	36,980	23,060	0,00	5,800
47	18,845	74,800	46,640	0,00	6,064
48	18,804	27,630	17,230	0,00	6,297
49	18,757	35,700	22,260	0,00	6,574
50	18,718	28,900	18,020	0,00	6,804
51	18,685	34,430	21,470	0,00	7,003
52	18,650	35,700	22,260	0,00	7,218
53	18,622	60,350	37,630	0,00	7,391
54	18,603	25,930	16,170	0,00	7,512
55	18,584	66,300	41,340	0,00	7,638
56	18,568	26,350	16,430	0,00	7,744
57	18,539	13,810	8,610	450,00	7,948
58	18,500	14,880	9,280	0,00	8,160
59	18,493	36,130	22,530	0,00	8,198
60	18,484	76,500	47,700	0,00	8,241
61	18,482	35,280	22,000	0,00	8,252
62	18,479	36,550	22,790	0,00	8,278
63	18,467	37,830	23,590	0,00	8,341
64	18,451	31,030	19,350	0,00	8,420
65	18,443	34,850	21,730	0,00	8,462
66	18,441	33,580	20,940	0,00	8,475
67	18,436	30,180	18,820	0,00	8,498
68	18,435	29,330	18,290	0,00	8,503
69	18,434	28,900	18,020	0,00	8,508
70	18,470	35,700	22,260	0,00	8,332
71	18,462	32,730	20,410	450,00	8,380
72	18,454	27,200	16,960	0,00	8,421
73	18,445	14,240	8,880	0,00	8,469
74	18,431	36,130	22,530	0,00	8,540
75	18,428	36,980	23,060	0,00	8,557
76	18,423	37,400	23,320	0,00	8,584
77	18,420	15,940	9,940	0,00	8,598

78	18,416	26,350	16,430	0,00	8,617
79	18,411	29,330	18,290	0,00	8,643
80	18,409	13,180	8,220	0,00	8,656
81	18,406	14,030	8,750	0,00	8,671
82	18,405	34,850	21,730	0,00	8,677
83	18,449	31,880	19,880	0,00	8,445
84	18,447	74,800	46,640	0,00	8,457
85	18,445	65,450	40,810	0,00	8,467
86	18,443	15,510	9,670	0,00	8,477
87	18,441	15,090	9,410	0,00	8,489
88	18,440	56,950	35,510	0,00	8,494
89	18,538	18,910	11,790	0,00	7,954
90	18,536	36,130	22,530	0,00	7,995
91	18,535	25,500	15,900	0,00	8,000

### 3.4. Analisa Hasil Perhitungan

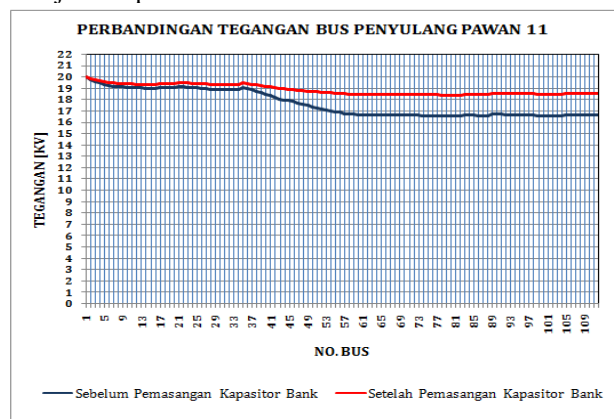
Berdasarkan tegangan bus penyulang Pawan 11 kondisi eksisting pada Tabel 3 dan tegangan bus penyulang pawan 11 setelah pemasangan kapasitor bank pada Tabel 5, rekapitulasi perbandingan tegangan bus sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Perbandingan Tegangan Bus Penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi

Uraian	Kondisi Penyulang Pawan 11	
	Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank	Setelah Pemasangan Kapasitor Bank
Tegangan Bus diatas 19 kV	26 Bus	42 Bus
Tegangan Bus dibawah 19 kV	86 Bus	70 Bus
Tegangan Bus Minimum	16,565 kV	18,405 kV
Jatuh Tegangan Bus Maksimum	17,343%	8,677%

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Grafik perbandingan tegangan bus penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi pada kondisi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Bus Penyulang Pawan 11



Pada kondisi sebelum pemasangan kapasitor bank (eksisting), tegangan bus yang tidak memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu persentase jatuh tegangan diatas 5% atau tegangan bus dibawah 19 kV terdapat sebanyak 86 bus. Adapun tegangan bus minimal terdapat pada bus 82 (Gardu distribusi TT 0022) yaitu sebesar 16,565 kV, dengan persentase jatuh tegangan bus sebesar 17,343%. Setelah pemasangan kapasitor bank tegangan bus dibawah 19 kV berkurang menjadi 70 bus. Tegangan bus minimal pada bus 82 (Gardu distribusi TT 0022) meningkat sebesar 1,840 kV menjadi 18,405 kV, dengan persentase jatuh tegangan bus sebesar 8,677%.

Rekapitulasi perbandingan tegangan bus sebelum dan setelah rekapitulasi perbandingan aliran daya dan rugi-rugi daya aktif sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi dapat ditunjukkan pada 7.

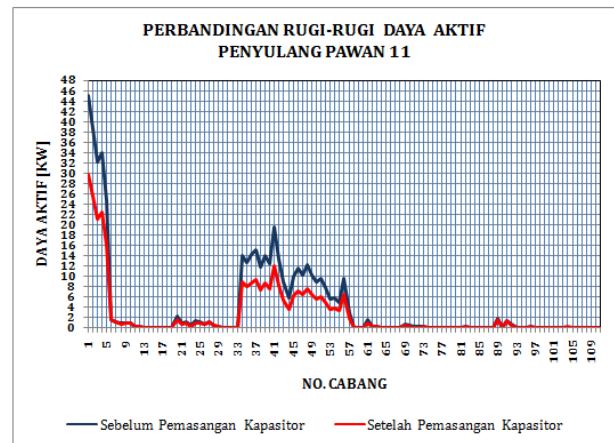
Tabel 7.Rekapitulasi Perbandingan Aliran Daya dan Rugi-Rugi Daya Aktif

Uraian	Kondisi Penyulang Pawan 11	
	Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank	Setelah Pemasangan Kapasitor Bank
Total daya aktif yang dibangkitkan oleh PLTD/GH [kW]	5.614,239	5.456,236
Total daya reaktif yang dibangkitkan oleh PLTD/GH [kVAR]	3.794,020	742,255
Total Injeksi daya reaktif [kVAR]	0,00	2.850,00
Total daya aktif beban sistem [kW]	5.165,310	5.165,310
Total daya reaktif beban sistem [kVAR]	3.220,790	3.220,790
Total rugi daya aktif sistem [kW]	448,994	290,937

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Dari data pengukuran beban gardu-gardu distribusi total beban aktif sistem penyulang Pawan 11 sebesar 5.165,310 kW, sedangkan total beban reaktif sistem penyulang Pawan 11 sebesar 3.220,790 kVAR. Pada kondisi eksisting berdasarkan hasil perhitungan total daya aktif yang dibangkitkan PLTD pada penyulang Pawan 11 sebesar 5.614,239 kW, sedangkan total daya reaktif sebesar 3.794.020 kVAR. Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada sistem penyulang Pawan 11 sebesar 448,994 kW. Setelah pemasangan kapasitor bank dengan dengan total sebesar 2.850 kVAR. Total daya aktif yang dibangkitkan PLTD pada penyulang Pawan 11 berkurang menjadi 5.456,236 kW, sedangkan total daya reaktif berkurang sebesar 742,255 kVAR disebabkan beban daya reaktif disupply sebagian oleh injeksi daya reaktif yang dihasilkan kapasitor bank. Total rugi-rugi daya aktif setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang Pawan 11 sebesar berkurang sebesar 158,057 kW menjadi 290,937 kW.

Grafik perbandingan rugi-rugi daya aktif penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi pada kondisi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif Penyulang Pawan 11

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisa aliran daya yang dilakukan pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dari pengolahan data penyulang Pawan 11 terdiri dari 112 bus dengan struktur jaringan radial dengan total beban aktif sistem penyulang Pawan 11 sebesar 5.165,310 kW, dan beban reaktif sebesar 3.220,790 kVAR.
2. Pada kondisi sebelum pemasangan kapasitor bank (eksisting), tegangan bus yang tidak memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu persentase jatuh tegangan diatas 5% atau tegangan bus dibawah 19 kV terdapat sebanyak 86 bus. Adapun tegangan bus minimal terdapat pada bus 82 (Gardu distribusi TT 0022) yaitu sebesar 16,565 kV, dengan persentase jatuh tegangan bus sebesar 17,343%.
3. Pada kondisi eksisting berdasarkan hasil perhitungan total daya aktif yang dibangkitkan PLTD pada penyulang Pawan 11 sebesar 5.614,239 kW, sedangkan total daya reaktif sebesar 3.794.020 kVAR. Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada sistem penyulang Pawan 11 sebesar 448,994 kW.
4. Upaya perbaikan penyaluran daya listrik dan kualitas tegangan bus pada penyulang Pawan 11 PT. PLN (Persero) Rayon Tumbang Titi dilakukan pemasangan kapasitor bank. Lokasi penempatan dan kapasitas kapasitor bank yaitu : bus 26 (600 kVAR), bus 36 (450 kVAR), bus 57 (450 kVAR), bus 71 (450 kVAR), bus 93 (450 kVAR), dan bus 105 (450 kVAR).
5. Setelah pemasangan kapasitor bank tegangan bus dibawah 19 kV berkurang menjadi 70 bus. Tegangan bus minimal pada bus 82 (Gardu distribusi TT 0022) meningkat sebesar 1,840 kV menjadi 18,405 kV, dengan persentase jatuh tegangan bus sebesar 8,677%.
6. Setelah pemasangan kapasitor bank dengan dengan total sebesar 2.850 kVAR. Total daya aktif yang dibangkitkan PLTD pada penyulang Pawan 11 berkurang menjadi 5.456,236 kW, sedangkan total daya reaktif berkurang sebesar 742,255 kVAR



disebabkan beban daya reaktif disupply sebagian oleh injeksi daya reaktif yang dihasilkan kapasitor bank. Total rugi-rugi daya aktif setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang Pawan 11 sebesar berkurang sebesar 158,057 kW menjadi 290,937 kW.

## Referensi

- [1]. Syahri Ibnu, 2019, Perhitungan dan Upaya Perbaikan Untuk Meminimalkan Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah. Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Untan 2019.
- [2]. Manurung, Chandra Wimar Tono dkk. 2017. Optimasi Pemasangan dan Kapasitas Kapasitor Shunt Pada Jaringan Distribusi Penyulang Menjangan. Jurnal Teknologi Elektro, Vol. 16, No. 02, Mei - Agustus 2017.
- [3]. Teng, Jen-Hao. 2003. A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions. IEEE Trans. Power Del, Vol. 8, no. 3, pp. 882-887. July, 2003.
- [4]. Sirait, Bonar. 2012. Diktat Kuliah Sistem Distribusi. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [5]. Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. New York : McGraw-Hill Book Company
- [6]. Natarajan, Ramasamy. 2005. Power System Capacitors. Taylor dan Francis Group.
- [7]. Thakur, T. and Dhiman Jaswanti, 2006. A New Approach to Load Flow Solutions for Radial Distribution System. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America. Venezuela.
- [8]. Ni Putu, Agustini dan Haryanto, Andik. 2010. Analisa Aliran Daya dengan Metoda Newton-Raphson Modifikasi pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial. Jurnal Elektro ELTEK Vol. 1, No. 2, 2010. Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional. Malang.
- [9]. Hutaaruk, TS. 1985. Transmisi Daya Listrik. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [10]. PLN. 2010. Kriteria Desain Enjinering Kontruksi Jaringan Distribusi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : PT. PLN (Persero)
- [11]. SPLN 59. 1985. Keandalan Pada Sistem Distribusi 20KV dan 6KV. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [12]. SPLN No. 72. 1987. Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [13]. Budiana. "sistem-tenaga-listrik". agusbudiana1.blogspot.com. 20 Pebruari 2016. <http://agusbudiana1.blogspot.com/2014/04/sistem-tenaga-listrik.html>.

## Biography



**Andrianto Dwi Prasetyo**, lahir di Cilacap pada tanggal 15 Maret 1995. Menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Sidakaya 10 dan lulus tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 2 Cilacap dan lulus tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMK Negeri 2 Cilacap dan lulus pada tahun 2013. Melanjutkan Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015 dan lulus tahun 2021.

Menyetujui :  
Pembimbing Utama,

Ir. Bonar Sirait, M.Sc, IPM  
NIP. 195608131983021001

Pembimbing Pembantu,

Dr. Purwoharjono, ST, MT, IPM  
NIP. 197201021998021001

disebabkan beban daya reaktif disupply sebagian oleh injeksi daya reaktif yang dihasilkan kapasitor bank. Total rugi-rugi daya aktif setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang Pawan 11 sebesar berkurang sebesar 158,057 kW menjadi 290,937 kW.

#### Referensi

- [1]. Syahri Ibnu, 2019, Perhitungan dan Upaya Perbaikan Untuk Meminimalkan Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Untan 2019.
- [2]. Manurung, Chandra Wimar Tono dkk. 2017. Optimasi Pemasangan dan Kapasitas Kapasitor Shunt Pada Jaringan Distribusi Penyulang Menjangkan. Jurnal Teknologi Elektro, Vol. 16, No. 02, Mei - Agustus 2017.
- [3]. Teng, Jen-Hao. 2003. A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions. IEEE Trans. Power Del, Vol. 8, no. 3, pp. 882-887. July, 2003.
- [4]. Sirait, Bonar. 2012. Diktat Kuliah Sistem Distribusi. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [5]. Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. New York : McGraw-Hill Book Company
- [6]. Natarajan, Ramasamy. 2005. Power System Capacitors. Taylor dan Francis Group.
- [7]. Thakur, T. and Dhiman Jaswanti, 2006. A New Approach to Load Flow Solutions for Radial Distribution System. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America. Venezuela.
- [8]. Ni Putu, Agustini dan Haryanto, Andik. 2010. Analisa Aliran Daya dengan Metoda Newton-Raphson Modifikasi pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial. Jurnal Elektro ELTEK Vol. 1, No. 2, 2010. Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional. Malang.
- [9]. Hutaeruk, TS. 1985. Transmisi Daya Listrik. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [10]. PLN. 2010. Kriteria Desain Enjinering Kontruksi Jaringan Distribusi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : PT. PLN (Persero)
- [11]. SPLN 59. 1985. Keandalan Pada Sistem Distribusi 20KV dan 6KV. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [12]. SPLN No. 72. 1987. Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [13]. Budiana. "sistem-tenaga-listrik". agusbudiana1.blogspot.com. 20 Pebruari 2016. <http://agusbudiana1.blogspot.com/2014/04/sistem-tenaga-listrik.html>.

#### Biography



**Andrianto Dwi Prasetyo**, lahir di Cilacap pada tanggal 15 Maret 1995. Menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Sidakaya 10 dan lulus tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 2 Cilacap dan lulus tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMK Negeri 2 Cilacap dan lulus pada tahun 2013. Melanjutkan Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015 dan lulus tahun 2021.

Menyetujui :  
Pembimbing Utama,

Ir. Bonar Sirait, M.Sc, IPM  
NIP. 195608131983021001

Pembimbing Pembantu,

Dr. Purwoharjono, ST, MT, IPM  
NIP. 197201021998021001